

Kajian bioremediasi rumpai laut merah (*Gracilaria changii*) ke atas bahan buangan ternakan ikan tilapia Nile (*Oreochromis niloticus*) dan ikan siakap Asia (*Lates calcarifer*)

oleh

ADIBI RAHIMAN BIN MD. NOR

Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi Ijazah
Sarjana Sains

Julai 2011

PENGHARGAAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Allah s.w.t kerana dengan limpah dan kurniaNya, saya dapat menyiapkan tesis ini. Setinggi-tinggi penghargaan kepada penyelia saya iaitu Prof. Madya Dr. Misni b. Surif kerana telah memberi bimbingan dan mengajar saya menjadi seorang penyelidik yang berfikiran saintifik. Seterusnya ucapan terima kasih kepada pihak Jabatan Perkhidmatan Awam dan Jabatan Perikanan Malaysia kerana telah memberikan peluang kepada saya melanjutkan pengajian di peringkat Sarjana. Bagi pihak Universiti Sains Malaysia pula, yang telah menyalurkan bantuan kewangan dari segi perolehan peralatan dan analisis sampel sepanjang pengajian, saya ucapkan jutaan terima kasih. Tidak lupa juga penghargaan kepada rakan-rakan di makmal yang memberikan pertolongan di kala saya memerlukannya. Seterusnya, penghargaan ke atas insan-insan yang penting dalam hidup saya iaitu keluarga (Kamariah bt. Hussain, Md. Nor b. Ibrahim, adik-beradik) serta keluarga sebelah isteri saya (Julita Zam bt. Zainal Abidin, Koraiza bt. Abdullah, Zainal Abidin b. Maidin, kakak-kakak ipar dan keluarga) yang telah banyak memberi sokongan dan bersabar di atas segala rintangan yang dihadapi sepanjang menyiapkan tesis ini. Akhir sekali, saya ingin mengucapkan rasa kesyukuran ke hadrat Allah s.w.t kerana telah menganugerahkan seorang putera, Aqil b. Adibi Rahiman tatkala peringkat akhir

penulisan tesis ini dibuat seterusnya menjadi pembakar semangat kepada saya untuk menektahkannya.

ISI KANDUNGAN

| | Mukasurat |
|--|-----------|
| PENGHARGAAN | ii |
| SENARAI KANDUNGAN | iv |
| SENARAI RAJAH | xi |
| SENARAI JADUAL | xvi |
| SENARAI PLAT | xvii |
| SENARAI NAMA SINGKATAN | xix |
| SENARAI SIMBOL | xix |
| ABSTRAK | xx |
| ABSTRACT | xxii |
| | |
| BAB SATU: PENDAHULUAN | |
| 1.1 Pengenalan | 1 |
| 1.2 Objektif Kajian | 6 |
| | |
| BAB DUA: TINJAUAN BACAAN | |
| 2.1 Pendekatan Bioremediasi Di Dalam Industri Akuakultur | 7 |
| 2.2 Kesan Faktor Persekitaran Terhadap Tumbesaran Ikan | 12 |
| 2.3 Kesan Faktor Persekitaran Terhadap Pertumbuhan Rumpai Laut | 14 |

BAB TIGA: KAJIAN PENENTUAN PEMBEBASAN OKSIGEN OLEH *Gracilaria changii*, PENGAMBILAN OKSIGEN OLEH *Oreochromis niloticus* DAN *Lates calcarifer* DI DALAM SISTEM MONOKULTUR DAN POLIKULTUR

| | |
|--|----|
| 3.1 Pengenalan | 19 |
| 3.2 Bahan dan kaedah | 20 |
| 3.2.1 Perolehan Dan Aklimitasi <i>Gracilaria changii</i> , <i>Oreochromis niloticus</i> Dan <i>Lates calcarifer</i> | 20 |
| 3.2.1.1 Rumpai Laut Merah (<i>Gracilaria changii</i>) | 20 |
| 3.2.1.2 Ikan Tilapia Nile (<i>Oreochromis niloticus</i>) | 21 |
| 3.2.1.3 Ikan Siakap Asia (<i>Lates calcarifer</i>) | 21 |
| 3.2.2 Kaedah Penentuan Kadar Pengambilan dan Pembebasan Oksigen | 24 |
| 3.2.2.1 Sistem Monokultur | 24 |
| 3.2.2.2 Sistem Polikultur | 27 |
| 3.2.3 Ujian statistik | 28 |
| 3.3 Keputusan | 29 |
| 3.3.1 Kandungan Oksigen Terlarut, Suhu dan Nilai pH Di Dalam Sistem Monokultur | 29 |
| 3.3.1.1 Sistem Monokultur <i>O. niloticus</i> | 29 |
| 3.3.1.2 Sistem Monokultur <i>L. calcarifer</i> | 31 |
| 3.3.1.3 Sistem Monokultur <i>G. changii</i> | 27 |
| 3.3.2 Kandungan Oksigen Terlarut, Suhu dan pH Di Dalam Sistem Polikultur | 33 |
| 3.3.2.1 Sistem Polikultur <i>O. niloticus</i> Dengan <i>G. changii</i> | 34 |
| 3.3.2.2 Perbandingan Antara Sistem Monokultur Dengan Sistem Polikultur <i>O. niloticus</i> Dengan <i>G. changii</i> | 36 |
| 3.3.2.3 Sistem Polikultur <i>L. calcarifer</i> Dan <i>G. changii</i> | 38 |

| | |
|--|----|
| 3.3.2.4 Perbandingan Antara Sistem Monokultur Dengan Sistem Polikultur <i>L. calcarifer</i> Dengan <i>G. changii</i> | 40 |
| 3.4 Perbincangan | 42 |
| | |
| BAB EMPAT: KAJIAN KESAN AMMONIUM (NH₄⁺-N) KE ATAS PERTUMBUHAN RUMPAI LAUT MERAH, <i>G. changii</i> | |
| 4.1 Pengenalan | 46 |
| 4.2 Bahan dan kaedah | 47 |
| 4.2.1 Penentuan Kadar Pertumbuhan Spesifik <i>G. changii</i> | 50 |
| 4.2.2 Ujian statistik | 50 |
| 4.3 Keputusan | 50 |
| 4.3.1 Pertumbuhan <i>G. changii</i> | 50 |
| 4.3.2 Kadar Pertumbuhan Spesifik (SGR) <i>G. changii</i> | 51 |
| 4.3.2.1 SGR Bagi Rawatan Dan Kawalan A | 51 |
| 4.3.2.2 SGR Bagi Rawatan Dan Kawalan B | 52 |
| 4.3.2.3 SGR Bagi Rawatan Dan Kawalan C | 54 |
| 4.3.2.4 Purata Nilai SGR Untuk Keseluruhan Rawatan Dan Kawalan | 55 |
| 4.4 Perbincangan | 56 |
| | |
| BAB LIMA: SISTEM TERNAKAN POLIKULTUR ANTARA <i>O. niloticus</i> DENGAN <i>G. changii</i> : KAJIAN KE ATAS KUALITI AIR DAN KANDUNGAN C, N DAN NISBAH C:N | |
| 5.1 Pengenalan | 59 |
| 5.2 Bahan dan kaedah | 60 |
| 5.2.1 Penyediaan Sistem Ternakan Polikultur Antara <i>O. niloticus</i> Dengan <i>G. changii</i> | 60 |
| 5.2.2 Penentuan Kadar Pertumbuhan Spesifik <i>G. changii</i> | 63 |
| 5.2.3 Penentuan Kadar Kemandirian <i>O. niloticus</i> | 63 |

| | |
|---|----|
| 5.2.4 Penentuan Peratus C, N Dan Nisbah C:N Di Dalam Tisu <i>G. changii</i> | 63 |
| 5.2.5 Ujian statistik | 64 |
| 5.3 Keputusan | 64 |
| 5.3.1 Kepekatan Oksigen Terlarut (DO) | 64 |
| 5.3.2 pH | 66 |
| 5.3.3 Kadar Mandiri <i>O. niloticus</i> Dan Kadar Tumbesaran <i>G. changii</i> | 68 |
| 5.3.4 Peratus C, N Dan Nisbah C:N Dalam Tisu <i>G. changii</i> | 69 |
| 5.4 Perbincangan | 70 |
| | |
| BAB ENAM: SISTEM TERNAKAN POLIKULTUR ANTARA <i>L. calcarifer</i> DENGAN <i>G. changii</i> : KAJIAN KE ATAS KUALITI AIR DAN KANDUNGAN C, N DAN NISBAH C:N DALAM <i>G. changii</i> | |
| 6.1 Pengenalan | 73 |
| 6.2 Bahan dan kaedah | 74 |
| 6.2.1 Sistem Ternakan Polikultur Antara <i>L. calcarifer</i> Dengan <i>G. changii</i> | 74 |
| 6.2.2 Penentuan Kadar Tumbesaran <i>G. changii</i> | 77 |
| 6.2.3 Penentuan Kadar Kemandirian <i>L. calcarifer</i> | 77 |
| 6.2.4 Penentuan Peratus C, N Dan Nisbah C:N Di Dalam Tisu <i>G. changii</i> | 78 |
| 6.2.5 Ujian statistik | 78 |
| 6.3 Keputusan | 78 |
| 6.3.1 Kepekatan oksigen terlarut (DO) | 78 |
| 6.3.2 pH | 80 |
| 6.3.3 Kadar Kemandirian <i>L. calcarifer</i> Dan Kadar Pertumbuhan <i>G. changii</i> | 83 |
| 6.3.4 Peratus C, N Dan Nisbah C:N Di Dalam Tisu <i>G. changii</i> | 84 |
| 6.4 Perbincangan | 87 |

BAB TUJUH: KAJIAN KUALITI AIR DI DALAM SISTEM TERNAKAN MONOKULTUR DAN BERSEPADU ANTARA *G. changii* DAN *O. niloticus*

| | |
|--|-----|
| 7.1 Pengenalan | 90 |
| 7.2 Bahan dan kaedah | 91 |
| 7.2.1 Penyediaan Sistem Pengkulturan Secara Monokultur Dan Bersepadu Antara <i>G. changii</i> Dan <i>O. niloticus</i> (SEPADU) Dwi-Fungsi | 91 |
| 7.2.2 Perolehan Dan Aklimitasi <i>G. changii</i> Dan <i>O. niloticus</i> | 94 |
| 7.2.3 Kajian Kesan Kadar Penstokan <i>G. changii</i> Yang Berbeza Terhadap Tumbuhan <i>G. changii</i> Dan <i>O. niloticus</i> Dan Kualiti Air Di Dalam Sistem Ternakan Bersepadu | 94 |
| 7.2.4 Pengukuran Kualiti Air | 96 |
| 7.2.5 Kesan Kadar Penstokan <i>G. changii</i> Di Dalam Sistem Monokultur <i>G. changii</i> Dan <i>O. niloticus</i> Ke Atas Kandungan Oksigen Terlarut (DO) Dan pH Air | 97 |
| 7.2.6 Pengukuran Kadar Pertumbuhan <i>G. changii</i> Dan <i>O. niloticus</i> Di Dalam Sistem Ternakan Bersepadu | 98 |
| 7.2.7 Kadar Kemandirian <i>O. niloticus</i> | 99 |
| 7.2.8 Peratus C, N Dan Nisbah C:N Di Dalam Tisu <i>G. changii</i> | 99 |
| 7.2.9 Ujian Statistik | 99 |
| 7.3 Keputusan | |
| 7.3.1 Sistem Pengkulturan Bersepadu Antara <i>O. niloticus</i> Dan <i>G. changii</i> | 100 |
| 7.3.1.1 Kesan Kadar Penstokan <i>G. changii</i> Yang Berbeza Terhadap DO dan pH | 100 |
| 7.3.1.2 Kesan Kadar Penstokan <i>G. changii</i> Yang Berbeza Terhadap Jumlah Nitrogen Terammonium (TAN) Dan Kepekatan Nitrogen Nitrat (NO_3^- -N) | 102 |
| 7.3.1.3 Kesan Kadar Penstokan <i>G. changii</i> Yang Berbeza Terhadap Kepekatan Ortofosfat (PO_4^{3-} -P) | 105 |
| 7.3.1.4 Kesan Kadar Penstokan Yang Berbeza Terhadap Kadar Tumbuhan <i>G. changii</i> | 106 |

| | |
|--|-----|
| 7.3.1.5 Kesan Kadar Penstokan <i>G. changii</i> Yang Berbeza Terhadap Tumbesaran Dan Kemandirian <i>O. niloticus</i> | 107 |
| 7.3.1.6 Peratus C, N Dan Nisbah C:N Dalam Tisu <i>G. changii</i> | 108 |
| 7.3.2 Sistem Monokultur <i>O. niloticus</i> Dan <i>G. changii</i> | 111 |
| 7.3.2.1 Kesan Keadaan Cahaya Dan Gelap Ke Atas DO Dan pH Air Di Dalam Sistem Monokultur <i>G. changii</i> Dan <i>O. niloticus</i> | 111 |
| 7.4 Perbincangan | 130 |
| BAB LAPAN: KAJIAN SISTEM AKUAKULTUR KITAR SEMULA (RAS) DI DALAM TERNAKAN <i>L. calcarifer</i> | |
| 8.1 Pengenalan | 138 |
| 8.2 Bahan dan kaedah | 139 |
| 8.2.1 Penyediaan Sistem Akuakultur Kitar Semula (RAS) | 139 |
| 8.2.2 Analisis Kualiti Air Di Dalam Sistem Akuakultur Kitar Semula (RAS) | 144 |
| 8.2.2.1 Penentuan Oksigen Terlarut (DO) Dan pH | 144 |
| 8.2.2.2 Penentuan Kandungan Ammonia (NH ₃ -N), Nitrit (NO ₂ ⁻ -N), Nitrat (NO ₃ ⁻ -N) Dan Ortofosfat (PO ₄ ³⁻ -P) | 145 |
| 8.2.3 Pengukuran Kadar Tumbesaran <i>L. calcarifer</i> Dan <i>G. changii</i> | 146 |
| 8.2.4 Penentuan Kadar Kemandirian <i>L. calcarifer</i> | 146 |
| 8.2.5 Penentuan Peratus C, N dan Nisbah C:N Di Dalam Tisu <i>G. changii</i> | 146 |
| 8.2.6 Ujian statistik | 147 |
| 8.3 Keputusan | 147 |
| 8.3.1 Kualiti Air Di Dalam RAS | 147 |
| 8.3.2 Kandungan Ammonia (NH ₃ -N), Nitrit (NO ₂ ⁻ -N) Dan Nitrat (NO ₃ ⁻ -N) Di Dalam RAS1, RAS2, RAS3 Dan RAS4 | 151 |
| 8.3.2.1 Nitrogen Ammonia (NH ₃ -N) | 151 |
| 8.3.2.2 Nitrogen Nitrit (NO ₂ ⁻ -N) | 153 |
| 8.3.2.3 Nitrogen Nitrat (NO ₃ ⁻ -N) | 155 |

| | |
|---|-----|
| 8.3.2.4 Ortofosfat ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) | 157 |
| 8.3.3 Kadar Tumbuhan Dan Kemandirian <i>L. calcarifer</i> | 158 |
| 8.3.4 Berat Dan Kadar Pertumbuhan <i>G. changii</i> | 160 |
| 8.3.5 Peratus C, N Dan Nisbah C:N | 162 |
| 8.4 Perbincangan | 164 |
| BAB SEMBILAN: KESIMPULAN DAN CADANGAN | 168 |
| 9.1 Kesimpulan | 168 |
| 9.2 Cadangan | 169 |
| BAB SEPULUH: RUJUKAN | 171 |
| BAB SEBELAS: PEMBENTANGAN SEMINAR/ PENERBITAN | 182 |

SENARAI RAJAH

mukasurat

| | | |
|-----------|--|----|
| Rajah 3.1 | Kadar pengambilan oksigen (A), suhu air (B) dan pH air (C) dalam sistem monokultur <i>O. niloticus</i> dalam keadaan bercahaya dan gelap. | 30 |
| Rajah 3.2 | Kadar pengambilan oksigen (A), suhu (B) dan pH (C) dalam sistem monokultur <i>L. calcarifer</i> dalam keadaan cahaya dan gelap. | 32 |
| Rajah 3.3 | Kadar pembebasan oksigen dalam keadaan bercahaya dan kadar pengambilan oksigen dalam keadaan gelap (A), suhu (B) dan pH (C) dalam sistem monokultur <i>G. changii</i> . | 33 |
| Rajah 3.4 | (A) Pengambilan dan pembebasan oksigen, (B) suhu dan (C) pH dalam sistem polikultur (<i>O. niloticus</i> + <i>G. changii</i>) dalam keadaan cahaya dan gelap. | 35 |
| Rajah 3.5 | Perbandingan antara sistem polikultur (<i>O. niloticus</i> + <i>G. changii</i>) dan monokultur dalam keadaan bercahaya dan gelap. (A) Pengambilan dan pembebasan oksigen, (B) suhu dan (C) pH. | 37 |
| Rajah 3.6 | (A) Pengambilan oksigen, (B) suhu dan (C) pH dalam sistem polikultur (<i>L. calcarifer</i> + <i>G. changii</i>) semasa dalam keadaan bercahaya dan gelap. | 39 |
| Rajah 3.7 | Perbandingan antara sistem polikultur (<i>L. calcarifer</i> + <i>G. changii</i>) dan monokultur semasa keadaan cahaya dan gelap. (A) Pengambilan dan pembebasan oksigen, (B) suhu dan (C) pH. | 41 |
| Rajah 4.1 | Berat <i>G. changii</i> yang diberikan $\text{NH}_4^+\text{-N}$ dan tanpa $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (Kawalan) untuk tempoh 15 hari pengkulturan. | 51 |
| Rajah 4.2 | Nilai SGR <i>G. changii</i> pada Rawatan A dan Kawalan A (-) selama 15 hari tempoh pengkulturan. | 52 |
| Rajah 4.3 | Nilai SGR <i>G. changii</i> pada Rawatan B dan Kawalan B (-) selama 15 hari tempoh pengkulturan. | 53 |
| Rajah 4.4 | Nilai SGR <i>G. changii</i> pada Rawatan C dan Kawalan C (-) selama 15 hari tempoh pengkulturan. | 55 |
| Rajah 4.5 | Nilai purata SGR <i>G. changii</i> sepanjang 15 hari tempoh ujikaji dijalankan untuk semua Rawatan dan Kawalan. | 56 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Rajah 5.1 | Purata kepekatan oksigen terlarut (DO) untuk semua Rawatan dan Kawalan dalam sistem ternakan polikultur antara <i>G. changii</i> dengan <i>O. niloticus</i> pada tiga waktu yang berbeza. | 65 |
| Rajah 5.2 | Purata kepekatan oksigen terlarut (DO) pagi, petang dan malam bagi semua Rawatan dan Kawalan untuk masa tujuh hari ujikaji dijalankan. | 66 |
| Rajah 5.3 | Purata pH untuk semua Rawatan dan Kawalan dalam sistem ternakan polikultur antara <i>G. changii</i> dengan <i>O. niloticus</i> pada waktu pagi, petang dan malam. | 67 |
| Rajah 5.4 | Purata nilai pH waktu pagi, petang dan malam untuk tujuh hari bagi Rawatan dan Kawalan. | 68 |
| Rajah 6.1 | Purata DO untuk Rawatan dalam sistem ternakan polikultur antara <i>G. changii</i> dengan <i>L. calcarifer</i> dan Kawalan pada waktu pagi (jam 0700), waktu petang (jam 1300) dan waktu malam (jam 2200). | 79 |
| Rajah 6.2 | Purata DO untuk semua Rawatan dalam sistem ternakan polikultur antara <i>G. changii</i> dengan <i>L. calcarifer</i> dan Kawalan sepanjang tujuh hari ujikaji dijalankan. | 80 |
| Rajah 6.3 | Purata pH untuk semua Rawatan dalam sistem ternakan polikultur antara <i>G. changii</i> dengan <i>L. calcarifer</i> pada waktu yang berbeza (pagi, petang dan malam). | 82 |
| Rajah 6.4 | Purata pH untuk semua Rawatan dalam sistem ternakan polikultur antara <i>G. changii</i> dengan <i>L. calcarifer</i> dan Kawalan sepanjang tujuh hari ujikaji dijalankan. | 83 |
| Rajah 6.5 | Peratus C dalam tisu <i>G. changii</i> pada hari pertama dan selepas tujuh hari dikultur dalam sistem polikultur dengan <i>L. calcarifer</i> dan Kawalan1. | 85 |
| Rajah 6.6 | Peratus N dalam tisu <i>G. changii</i> selepas tujuh hari dikultur dalam sistem polikultur dengan <i>L. calcarifer</i> dan Kawalan1. | 86 |
| Rajah 6.7 | Nisbah C:N dalam tisu <i>G. changii</i> selepas tujuh hari dikultur dalam sistem polikultur dengan <i>L. calcarifer</i> dan Kawalan1. | 87 |
| Rajah 7.1 | Purata kandungan oksigen terlarut (DO) dalam sistem ternakan secara bersepadu antara <i>O. niloticus</i> dan <i>G. changii</i> (Rawatan) dan Kawalan untuk jangka waktu 35 hari. | 101 |
| Rajah 7.2 | Purata nilai pH dalam sistem ternakan secara bersepadu antara <i>O. niloticus</i> dan <i>G. changii</i> (Rawatan) dan Kawalan untuk jangka waktu 35 hari. | 101 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Rajah 7.3 | Kepekatan TAN dalam sistem ternakan secara bersepadu antara <i>O. niloticus</i> dan <i>G. changii</i> untuk jangka waktu 31 hari. | 103 |
| Rajah 7.4 | Purata kepekatan NO ₃ ⁻ -N dalam sistem ternakan secara bersepadu antara <i>O. niloticus</i> dan <i>G. changii</i> untuk jangka waktu 31 hari. | 104 |
| Rajah 7.5 | Purata PO ₄ ³⁻ -P dalam sistem ternakan secara bersepadu antara <i>O. niloticus</i> dan <i>G. changii</i> untuk jangka waktu 35 hari. | 106 |
| Rajah 7.6 | Kadar pertumbuhan spesifik <i>G. changii</i> dalam sistem ternakan bersepadu antara <i>G. changii</i> dan <i>O. niloticus</i> pada hari kesembilan dan hari ke 35. | 107 |
| Rajah 7.7 | Kadar pertumbuhan spesifik (SGR) <i>O. niloticus</i> dalam sistem ternakan bersepadu antara <i>G. changii</i> dan <i>O. niloticus</i> bagi tempoh 35 hari. | 108 |
| Rajah 7.8 | Peratus C (A), Peratus N (B) dan Nisbah C:N (C) dalam tisu <i>G. changii</i> selepas 35 hari dalam sistem ternakan bersepadu. | 110 |
| Rajah 7.9 | Purata DO bagi Rawatan A dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 112 |
| Rajah 7.10 | Purata DO bagi Rawatan A dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 113 |
| Rajah 7.11 | Purata pH bagi Rawatan A dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 114 |
| Rajah 7.12 | Purata pH bagi Rawatan A dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 115 |
| Rajah 7.13 | Purata DO bagi Rawatan B dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 115 |
| Rajah 7.14 | Purata DO bagi Rawatan B dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 116 |
| Rajah 7.15 | Purata pH bagi Rawatan B dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 117 |
| Rajah 7.16 | Purata pH bagi Rawatan B dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 118 |
| Rajah 7.17 | Purata DO bagi Rawatan C dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 119 |
| Rajah 7.18 | Purata DO bagi Rawatan C dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 120 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Rajah 7.19 | Purata pH bagi Rawatan C dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 121 |
| Rajah 7.20 | Purata pH bagi Rawatan C dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 122 |
| Rajah 7.21 | Purata DO bagi Kawalan A dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 123 |
| Rajah 7.22 | Purata DO bagi Kawalan A dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 124 |
| Rajah 7.23 | Purata pH bagi Kawalan A dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 125 |
| Rajah 7.24 | Purata pH bagi Kawalan A dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 126 |
| Rajah 7.25 | Purata DO bagi Rawatan C dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 127 |
| Rajah 7.26 | Purata DO bagi Rawatan C dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 128 |
| Rajah 7.27 | Purata pH bagi Rawatan C dalam keadaan cahaya dalam masa tiga jam. | 129 |
| Rajah 7.28 | Purata pH bagi Rawatan C dalam keadaan gelap dalam masa tiga jam. | 130 |
| Rajah 8.1 | Unit Sistem Akuakultur Kitar Semula (RAS). | 140 |
| Rajah 8.2 | Sistem Akuakultur Kitar Semula dengan sistem penapis terdiri daripada bebola bio, penyiring protein dan batu karang (RAS1). | 141 |
| Rajah 8.3 | Sistem Akuakultur Kitar Semula dengan sistem penapis terdiri daripada bebola bio dan batu karang (RAS2). | 141 |
| Rajah 8.4 | Sistem Akuakultur Kitar Semula dengan sistem penapis rumpai laut, <i>G. changii</i> (RAS3). | 142 |
| Rajah 8.5 | Sistem Akuakultur Kitar Semula tanpa sistem penapis (RAS4). | 143 |
| Rajah 8.6 | Nilai DO dalam RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 pada waktu pagi dan petang. | 148 |
| Rajah 8.7 | Nilai DO dalam RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 sepanjang tempoh ujikaji dijalankan selama 30 hari. | 149 |
| Rajah 8.8 | Nilai pH dalam RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 pada waktu pagi dan petang. | 150 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Rajah 8.9 | Nilai purata pH (pagi dan petang) dalam RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 sepanjang 30 hari ujikaji dijalankan. | 151 |
| Rajah 8.10 | Kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 mengikut hari. | 153 |
| Rajah 8.11 | Kepekatan $\text{NO}_2\text{-N}$ dalam RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 mengikut hari. | 155 |
| Rajah 8.12 | Kepekatan $\text{NO}_3\text{-N}$ dalam RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 mengikut hari. | 156 |
| Rajah 8.13 | Kepekatan $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ dalam dalam RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 mengikut hari. | 158 |
| Rajah 8.14 | Berat <i>L. calcarifer</i> dalam sistem RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 pada permulaan kajian, hari kelapan, hari ke 18 dan hari ke 30. | 159 |
| Rajah 8.15 | Kadar Pertumbuhan Spesifik (SGR) <i>L. calcarifer</i> dalam sistem RAS1, RAS2, RAS3 dan RAS4 pada permulaan kajian, hari kelapan, hari ke 18 dan hari ke 30. | 160 |
| Rajah 8.16 | Berat <i>G. changii</i> pada minggu pertama, kedua, ketiga dan keempat. | 161 |
| Rajah 8.17 | Kadar Pertumbuhan Spesifik (SGR) <i>G. changii</i> di dalam sistem RAS pada minggu pertama, kedua, ketiga dan keempat. | 161 |
| Rajah 8.18 | Peratus C dalam tisu <i>G. changii</i> pada hari kelapan, ke 14, ke 22 dan hari ke 30 dalam sistem RAS3. | 163 |
| Rajah 8.19 | Peratus N dalam tisu <i>G. changii</i> pada hari kelapan, ke 14, ke 22 dan hari ke 30 di dalam sistem RAS3. | 163 |
| Rajah 8.20 | Nisbah C:N dalam tisu <i>G. changii</i> pada hari kelapan, ke 14, ke 22 dan hari ke 30 di dalam sistem RAS3. | 164 |

SENARAI JADUAL

mukasurat

| | | |
|------------|---|-----|
| Jadual 3.1 | Simbol yang digunakan bagi penerangan rawatan penentuan kandungan oksigen bagi sistem monokultur <i>G. changii</i> , <i>O. niloticus</i> dan <i>L. calcarifer</i> dan sistem polikultur antara <i>O. niloticus</i> dengan <i>G. changii</i> dan <i>L. calcarifer</i> dengan <i>G. changii</i> . | 27 |
| Jadual 4.1 | Kadar penstokan <i>G. changii</i> dengan Rawatan $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($\sqrt{\text{v}}$) dan tanpa $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (x) (Kawalan). | 49 |
| Jadual 5.1 | Penerangan Rawatan untuk sistem ternakan polikultur antara <i>G. changii</i> dengan <i>O. niloticus</i> . | 62 |
| Jadual 5.2 | Berat dan kadar pertumbuhan spesifik (SGR) <i>G. changii</i> dalam sistem polikultur dengan <i>O. niloticus</i> dan Kawalan1 bagi tempoh tujuh hari. | 69 |
| Jadual 5.3 | Peratus C, N dan nisbah C:N dalam tisu <i>G. changii</i> selepas tujuh hari dikultur dalam sistem polikultur dengan <i>O. niloticus</i> . | 70 |
| Jadual 6.1 | Rawatan untuk sistem ternakan polikultur antara <i>G. changii</i> dengan <i>L. calcarifer</i> . | 76 |
| Jadual 6.2 | Berat dan kadar pertumbuhan spesifik (SGR) <i>G. changii</i> dalam sistem polikultur dengan <i>L. calcarifer</i> dan Kawalan1 bagi tempoh tujuh hari. | 84 |
| Jadual 7.1 | Penerangan bagi setiap Rawatan dan Kawalan untuk sistem ternakan bersepadu antara <i>O. niloticus</i> dengan <i>G. changii</i> . | 95 |
| Jadual 7.2 | Kaedah yang digunakan untuk analisis kualiti air dengan menggunakan spektrofotometer jenama Hach DR 2800. | 97 |
| Jadual 7.3 | Berat <i>G. changii</i> dan <i>O. niloticus</i> dalam sistem monokultur semasa bacaan DO dan pH diambil. | 98 |
| Jadual 8.1 | Penerangan untuk sistem penapis biologi dan tanpa penapis bagi Sistem Akuakultur Kitar Semula (RAS). | 144 |
| Jadual 8.2 | Analisis kualiti air dengan menggunakan kaedah fotometrik menggunakan spektrofotometer jenama Hach DR 2800. | 145 |

SENARAI PLAT

mukasurat

| | | |
|----------|---|----|
| Plat 3.1 | <i>G. changii</i> di dalam tangki gentian kaca bersaiz 2 m (P) x 1 m (L) x 0.4 m (T) yang mengandungi 100 L air laut buatan bersaliniti 20 ‰. | 22 |
| Plat 3.2 | Membersihkan rumpai laut daripada segala kotoran, epifit dan lain-lain organisma. | 22 |
| Plat 3.3 | Benih ikan tilapia Nile, <i>O. niloticus</i> . | 22 |
| Plat 3.4 | Benih ikan siakap Asia, <i>L. calcarifer</i> . | 23 |
| Plat 3.5 | Kolam asuhan <i>L. calcarifer</i> milik Persatuan Peladang Kawasan Sg. Petani, Kedah. | 23 |
| Plat 3.6 | Benih ikan daripada kolam asuhan dipindah ke dalam kotak styrofoam. | 23 |
| Plat 3.7 | Ujikaji penentuan kandungan oksigen terlarut di dalam kelalang berisipadu 5L yang mengandungi ikan dan rumpai laut. (A) Keadaan bercahaya dan (B) Keadaan gelap. | 26 |
| Plat 3.8 | Pengudaraan yang dilakukan kepada air laut bagi menepukan dan menyeragamkan kandungan oksigen di dalam kelalang ujikaji. | 26 |
| Plat 3.9 | Ujikaji menentukan kandungan oksigen dalam sistem polikultur antara ikan dan rumpai laut. | 28 |
| Plat 4.1 | Stok yang berbeza bagi <i>G. changii</i> bagi Rawatan dan Kawalan A, B dan C. | 48 |
| Plat 4.2 | Kelalang kon 2 L yang mengandungi <i>G. changii</i> pada kadar penstokan yang berbeza (1.0 g _{bb} , 5.0 g _{bb} dan 20.0 g _{bb}). | 49 |
| Plat 5.1 | Tiga replikat akuarium sistem polikultur <i>G. changii</i> dan <i>O. niloticus</i> (A) Keadaan <i>G. changii</i> dan <i>O. niloticus</i> di dalam akuarium (B). | 61 |
| Plat 5.2 | Akuarium ditutup dengan jaring berwarna hitam bagi mengelakkan daripada gangguan luar. | 62 |
| Plat 6.1 | Set sistem polikultur antara <i>G. changii</i> dan <i>L. calcarifer</i> (A), Polikultur <i>G. changii</i> dan <i>L. calcarifer</i> di dalam akuarium ujikaji (B). | 76 |

| | | |
|----------|--|-----|
| Plat 6.2 | Penutup jaring plastik berwarna hitam digunakan bagi mengelakkan gangguan daripada luar. | 77 |
| Plat 7.1 | Sistem pengkulturan secara monokultur dan bersepadu <i>G. changii</i> dan ikan <i>O. niloticus</i> (SEPADU) dwi-fungsi. | 92 |
| Plat 7.2 | Kawalan aras air pada akuarium di bahagian atas (akuarium mengandungi <i>G. changii</i>). | 93 |
| Plat 7.3 | Sisa buangan pepejal daripada <i>O. niloticus</i> yang berkumpul di bahagian bawah akurium. | 96 |
| Plat 8.1 | Pengukuran suhu, DO dan pH air di dalam akuarium <i>L. calcarifer</i> dengan menggunakan alat pengukur kualiti air jenama YSI Model 556. | 145 |

SENARAI NAMA SINGKATAN

| | |
|-------------------------------------|---|
| 1. DO | : 'Dissolved Oxygen' atau oksigen terlarut |
| 2. CO ₂ | : Gas karbon dioksida |
| 3. SGR | : 'Specific Growth Rate' atau kadar pertumbuhan spesifik |
| 4. RAS | : Recirculating Aquaculture System atau sistem akuakultur kitar semula |
| 5. NH ₃ -N | : nitrogen ammonia |
| 6. NO ₂ ⁻ -N | : nitrogen nitrit |
| 7. NO ₃ ⁻ -N | : nitrogen nitrat |
| 8. PO ₄ ³⁻ -P | : fosforus (ortofosfat) |
| 9. NH ₄ ⁺ -N | : nitrogen ammonium |
| 10. NH ₄ ⁺ | : ammonium |
| 11. TAN | : 'Total Ammonia Nitrogen' atau Nitrogen ammonia total |
| 12. FAO | : 'Food and Agriculture Organization' atau Pertubuhan Makanan dan Pertanian Dunia |
| 13. GOMPU | : ' <i>Gracilaria</i> Outplanting Material Production Units' |
| 14. YSI | : 'Yellow Spring Instrument' |
| 15. s.p. | : sisihan piawai |

SENARAI SIMBOL

| | |
|-----------------------|--|
| 1. mg L ⁻¹ | : miligram per liter |
| 2. L | : Liter |
| 3. m | : meter |
| 4. cm | : sentimeter |
| 5. μ | : mikro |
| 6. m ⁻² | : meter per segi |
| 7. m ⁻³ | : meter padu |
| 8. s | : saat |
| 9. mg | : miligram |
| 10. O ₂ | : oksigen |
| 11. kg | : kilogram |
| 12. g | : gram |
| 13. ° C | : darjah Celcius |
| 14. ± | : 'Plusminus' |
| 15. μM | : mikro molar |
| 16. μmol | : mikro mol |
| 17. pH | : ukuran yang berupa angka, tentang keasidan atau kealkalian sesuatu larutan |
| 18. N | : nitrogen |
| 19. P | : fosforus |
| 20. P | : Panjang |
| 21. L | : Lebar |
| 22. T | : Tinggi |
| 23. h ⁻¹ | : hari ⁻¹ |
| 24. j | : jam |
| 25. g _{bb} | : gram berat basah |
| 26. %h ⁻¹ | : peratus per hari |
| 27. g _{fw} | : gram fresh weight |

KAJIAN BIOREMEDIASI RUMPAI LAUT MERAH (*Gracilaria changii*) KE ATAS BAHAN BUANGAN TERNAKAN IKAN TILAPIA NILE (*Oreochromis niloticus*) DAN IKAN SIAKAP ASIA (*Lates calcarifer*)

ABSTRAK

Kajian yang dijalankan adalah bagi menentukan keupayaan *Gracilaria changii* (rumpai laut merah) bertindak sebagai agen bioremediasi di dalam kultur ikan tilapia Nile (*Oreochromis niloticus*) dan ikan siakap Asia (*Lates calcarifer*). Kajian ini juga dijalankan untuk menilai potensi mewujudkan sistem pengkulturan bersepadu antara ikan dan rumpai laut bagi tujuan mengatasi pencemaran sisa buangan daripada aktiviti akuakultur. Bagi tujuan tersebut, keupayaan *G. changii* membebaskan oksigen yang diperlukan oleh ikan dan kebolehannya bertindak sebagai penapis NH_4^+ , NO_3^- dan PO_4^{3-} hasil bahan kumuhan ikan serta jumlah keperluan oksigen oleh ikan ditentukan. Kebolehan *G. changii* bertindak sebagai penapis bahan buangan tak organik daripada ikan kemudiannya dibandingkan dengan keupayaan penapis tak organik oleh mikrob dalam Sistem Akuakultur Kitar Semula (RAS). Hasil kajian mendapati bahawa ammonium (NH_4^+) adalah merupakan sumber N yang lebih digemari oleh *G. changii* berbanding nitrat (NO_3^-). Jumlah $50 \mu\text{M}$ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ yang dibekalkan setiap tiga hari adalah mencukupi untuk menampung keperluan N untuk 1.0g_{bb} hingga 5.0g_{bb} *G. changii*. Kadar Pertumbuhan Spesifik bagi 1.0g_{bb} *G. changii* yang diberikan $50 \mu\text{M}$ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ adalah yang paling tinggi dengan nilai $2.45 \pm 0.78 \text{ \%h}^{-1}$ berbanding $1.92 \pm 0.44 \text{ \%h}^{-1}$ bagi 5.0g_{bb} *G. changii* dan $0.52 \pm 0.41 \text{ \%h}^{-1}$ bagi 20.0g_{bb} *G. changii*. *O. niloticus* walau pun dikenali sebagai ikan omnivorous, ia didapati tidak memakan *G. changii* dan didapati pengambilan oksigen meningkat apabila diberi makanan dan menjadi lebih aktif. Keperluan ruang didapati lebih penting bagi *L. calcarifer* berbanding kepekatan oksigen yang tinggi. Kadar kemandirian *L. calcarifer* adalah rendah dalam akuarium yang mengandungi kepadatan *G. changii* yang tinggi. Oleh itu ruang yang lebih diperlukan oleh *L. calcarifer* disebabkan sifat

kanabalismenya yang tinggi. Hasil kumuhan *L. calcarifer* adalah menjadi penyumbang sumber N kepada *G. changii*. Lebih banyak *L. calcarifer* (atau sedikit *G. changii*) di dalam sistem polikultur, lebih tinggi peratus N (2.45%) di dalam tisu *G. changii*. Sistem ternakan secara bersepadu antara *G. changii* dan *O. niloticus* didapati amat berkesan bagi memelihara kualiti air. Kandungan nutrien dalam sistem ternakan bersepadu adalah lebih rendah berbanding sistem monokultur ikan. *G. changii* dapat menyingkirkan sebanyak 67% TAN, 63% NO₃-N dan 53% PO₄³⁻-P dalam sistem ternakan bersepadu antara *O. niloticus* dan *G. changii*. Kadar Pertumbuhan Spesifik (SGR) *G. changii* yang dikultur bersama dengan *O. niloticus* lebih tinggi (1.71 %h⁻¹) berbanding dengan *G. changii* yang dikultur tanpa *O. niloticus* (0.72 %h⁻¹). Dalam sistem monokultur keperluan oksigen oleh 1.0 g *L. calcarifer* (semasa keadaan bercahaya) dibekalkan oleh 1.9 g_{bb} *G. changii* (nisbah *L. calcarifer*:*G. changii* = 1:1.9) dan keperluan oksigen oleh 1.0 g *O. niloticus* dibekalkan oleh 2.5 g_{bb} *G. changii* (nisbah *O. niloticus*:*G. changii* = 1:2.5). Dengan menggunakan nisbah ikan:rumpai laut, kandungan oksigen di dalam sistem polikultur *L. calcarifer*: *G. changii* (1:1.9) adalah sebanyak 1.63 mgO₂/kg/jam, manakala kepekatan oksigen di dalam sistem polikultur *O. niloticus*:*G. changii* (1:2.5) adalah sebanyak 20.84 mgO₂/kg/jam. *G. changii* didapati bertindak sebagai penapis biologi yang baik kerana ia mampu mengurangkan kepekatan NH₄⁺ dan juga mampu menyingkirkan fosfat (PO₄³⁻) tiga kali lebih baik berbanding mikrob.

BIOREMEDIATION STUDY OF THE RED SEAWEED (*Gracilaria changii*) ON THE FARMING EFFLUENTS OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) AND ASIAN SEABASS (*Lates calcarifer*)

ABSTRACT

The study was conducted to determine the ability of *Gracilaria changii* (red seaweed) to function as a bioremediation agent in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and the Asian sea bass (*Lates calcarifer*) culture. This study was conducted to assess the potential of developing integrated culture of fish and seaweed to overcome the waste pollution generated by aquaculture activities. To fulfill the objective, the ability of *G. changii* to release oxygen required by fish and their ability of filtering NH_4^+ , NO_3^- dan PO_4^{3-} waste released through fish excretion and the amount of oxygen required by fish were determined. The ability of *G. changii* to filter inorganic waste excreted by fish was then compared to the inorganic filtering ability by microbes in the Recirculating Aquaculture System (RAS). The results of the study showed that ammonium (NH_4^+) was the preferable N source for *G. changii* compared to nitrate (NO_3^-). The amount of 50 μM NH_4^+ -N supplied every three days was found sufficient to support N requirement for 1.0 g_{fw} to 5.0 g_{fw} of *G. changii*. The Specific Growth Rate of 1.0 g_{fw} *G. changii* supplied with 50 μM NH_4^+ -N was found to be the highest with the value of $2.45 \pm 0.78 \text{ \%d}^{-1}$ compared to SGR of $1.92 \pm 0.44 \text{ \%d}^{-1}$ for 5.0 g_{fw} *G. changii* and $0.52 \pm 0.41 \text{ \%d}^{-1}$ for 20.0 g_{fw} *G. changii*. It was found that the omnivorous *O. niloticus* did not consume the *G. changii*. Oxygen consumption was higher when the fish was fed and they became more active. Space requirement was found to be more important for *L. calcarifer* than the requirement for higher oxygen concentrations. The survival rate of *L. calcarifer* is lower in the aquarium containing higher density of *G. changii*. More space is required by *L. calcarifer* because of their high cannibalism character. *L. calcarifer* becomes aggressive in the aquarium containing higher density of *G. changii* may be due to higher pH value. *L. calcarifer* excretion

contributes N source for *G. changii*. The more *L. calcarifer* (or less *G. changii*) in the polyculture system, the higher the percentage of N in the *G. changii* tissues. The integrated culture of *G. changii* with *O. niloticus* was very successful in conserving water quality. The nutrient content in the integrated culture system was lower compared to the monoculture fish system. In an integrated culture system of *O. niloticus* and *G. changii*, *G. changii* was able to eliminate 67% TAN, 63% NO₃⁻-N and 53% PO₄³⁻-P. The Specific Growth Rate of *O. niloticus* cultured together with *G. changii* was higher compared to the one that was cultured without *G. changii*. The SGR of *G. changii* cultured together with *O. niloticus* was higher (1.71 %d⁻¹) compared to *G. changii* cultured without *O. niloticus* (0.72 %d⁻¹). In the monoculture system, oxygen requirement of 1.0 g *L. calcarifer* (in light condition) was supplied by 1.9 g_{fw} of *G. changii* (the ratio of *L. calcarifer*:*G. changii* = 1:1.9) and the oxygen requirement of 1.0 g *O. niloticus* was supplied by 2.5 g_{fw} *G. changii* (the ratio of *O. niloticus*:*G. changii* = 1:2.5). By utilizing the ratio of fish:seaweed, the oxygen equilibrium was found in the polyculture system of *L. calcarifer*: *G. changii* (1:1.9) but the oxygen concentration decreased in *O. niloticus*:*G. changii* (1:2.5) polyculture system. *G. changii* is a good biological filter because reduced NH₄⁺ concentrations and eliminate phosphate (PO₄³⁻) three times better than microbes.

BAB SATU

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Rumpai laut atau makroalga marin dibahagikan kepada tiga Divisi mengikut warna iaitu Divisi Chlorophyta (rumpai laut hijau), Divisi Rhodophyta (rumpai laut merah) dan Divisi Phaeophyta (rumpai laut perang). Secara amnya, rumpai laut kaya dengan vitamin A, C dan E serta memainkan peranan yang penting dalam pelbagai industri seperti industri makanan, tekstil, cat, perubatan dan sebagainya. Sumber utama daripada rumpai laut yang menjadikan ianya istimewa dan bernilai komersial adalah bahan fikokoloid iaitu karagenan, alginat dan agar-agar. Karagenan diekstrak daripada rumpai laut merah *Chondrus* spp., *Euclima* spp. dan *Kappaphycus* spp.. Sumber alginat adalah daripada rumpai laut perang *Ascophyllum* spp., *Laminaria* spp. dan *Macrocystis* spp. manakala sumber agar-agar adalah daripada rumpai laut merah *Gracilaria* spp., *Gelidium* spp., *Gelidiella* spp. dan *Pterocladia* spp. (Mchugh, 1991).

Menurut perangkaan tahun 2006 oleh Pertubuhan Makanan dan Pertanian Dunia (FAO), jumlah pengeluaran rumpai laut dunia adalah sebanyak 14,995,422 tan berat kering yang sebahagian besarnya disumbang oleh dua kumpulan rumpai laut iaitu rumpai laut perang dan merah. Pengeluaran rumpai laut perang adalah paling tinggi iaitu sebanyak 7,442,179 tan berat kering dengan nilai USD 3.84 bilion (1 USD = RM 3.80) manakala pengeluaran rumpai laut merah adalah sebanyak 5,129,274 tan berat kering dengan nilai USD 2.26 bilion. Spesies utama rumpai laut yang dikultur mengikut

kepentingan ialah *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*, *Porphyra yezoensis*, *Porphyra tenera*, *Kappaphycus alvarezii* dan *Gracilaria* spp. (FAO, 2006).

Industri rumput laut negara telah bermula sejak tahun 1978 lagi dengan dua spesies iaitu *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* yang mula diperkenalkan penanamannya di Semporna, Sabah, Malaysia. Pengeluaran rumput laut di Malaysia telah meningkat daripada 10 tan metrik (berat kering) pada tahun 1989 kepada 8 800 tan metrik (berat kering) pada tahun 2007 (Statistik Perikanan, 2007). Walau bagaimanapun, jumlah pengeluaran tersebut adalah terlalu kecil dibandingkan dengan Indonesia dan Filipina. Memandangkan aktiviti pengkulturan rumput laut hanya tertumpu kepada spesies *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* yang dilakukan di Sabah, pihak kerajaan telah mengorak langkah untuk memajukan ternakan *Gracilaria* spp. di Semenanjung Malaysia. *Gracilaria* spp. merupakan sumber utama bagi industri penghasilan agar-agar. *Gracilaria* spp. menyumbang sebanyak 53% penghasilan agar-agar diikuti oleh *Gelidium* spp. sebanyak 44% manakala 3% pula adalah daripada *Gelidiella* spp. dan *Pterocladia* spp. (Mchugh, 1991). Antara hasil yang boleh diperolehi daripada agar-agar ialah agarose di mana ia merupakan salah satu komponen agar-agar yang penting dalam industri farmaseutikal dan industri-industri lain (Huisman, 2000).

Dengan pertambahan penduduk, permintaan makanan meningkat dan tidak terkecuali juga sektor perikanan dunia khususnya dan Malaysia amnya. Oleh yang demikian pihak kerajaan bersama-sama pihak swasta telah bertindak dengan agresif untuk memenuhi keperluan ikan negara dan hasilnya jumlah pengeluaran akuakultur negara telah meningkat daripada 114 000 tan metrik pada tahun 2000 kepada 130 000 tan metrik pada tahun tahun 2006 (FAO, 2008). Memandangkan permintaan ikan yang tinggi bagi memenuhi keperluan protein dunia, sektor akuakultur menjadi nadi utama

pengeluaran ikan dunia berbanding sektor tangkapan. Di peringkat global pula, sektor akuakultur pada masa kini menyumbang hampir 45% daripada jumlah pengeluaran ikan berbanding sektor tangkapan dan jumlah ini dijangka akan meningkat sehingga kepada 50% menjelang tahun 2015 (FAO, 2007). Walau bagaimanapun, pembangunan industri akuakultur marin seperti penternakan ikan dan udang telah menyebabkan pencemaran persekitaran hasil pelepasan kumuh haiwan ternakan yang mengandungi nitrogen dan fosforus serta buangan sisa-sisa bahan tak organik daripada lebih makanan ikan atau udang.

Memandangkan aktiviti akuakultur adalah penting untuk meningkatkan pengeluaran ikan, kaedah yang lestari dan mesra alam perlu dicari bagi mengurangkan kesan pencemaran tersebut. Antara kaedah yang lestari dan mesra alam untuk mengurangkan kesan pencemaran aktiviti akuakultur adalah melalui pendekatan bioremediasi. Bioremediasi menurut Beaumont et al. (2007) bermaksud penyingkiran pencemaran melalui proses penyimpanan, penghapusan dan kitar semula secara mesra alam oleh sesuatu organisma. Salah satu agen bioremediasi yang digunakan secara meluas untuk membersihkan pencemaran hasil ternakan ikan air masin atau air payau adalah dengan menggunakan rumpai laut. Sistem yang boleh digunakan dengan pendekatan bioremediasi ialah secara bersepadu, kitaran semula atau polikultur. Akuakultur bersepadu ialah satu kaedah secara biologi yang berupaya mengurangkan pencemaran alam sekitar yang disebabkan oleh bahan buangan dan sampingan daripada ternakan ikan (Gordin et al., 1981). Sistem Akuakultur Kitaran Semula (RAS) ialah satu sistem penternakan ikan dalam persekitaran yang terkawal seperti ternakan dalam tangki (Timmons et al., 2002). Polikultur pula bermaksud penternakan lebih dari satu spesies dalam satu sistem yang sama (Martan, 2008).

Kajian pada skala kecil menunjukkan bahawa keadaan persekitaran biologi akan stabil apabila air daripada kolam ikan dialirkan ke dalam kolam rumput laut dan air daripada kolam rumput laut dialirkan semula ke dalam kolam ikan (Neori et al., 1991; 1996). Terdapat beberapa kajian yang dibuat ke atas ternakan bersepadu antara udang dengan kerang-kerangan dan rumput laut. Kajian pengkulturan secara bersepadu antara tiram dan rumput laut oleh Wang (1990) dan Jones et al. (2001; 2002) mendapati bahawa tiram berupaya menyingkirkan zarah-zarah terampai dan fitoplankton, sementara rumput laut berupaya menyerap nutrien hasil kumuhan tiram.

Kajian ternakan polikultur antara ikan dengan rumput laut yang dilakukan di dalam makmal oleh Zhou et al. (2006) menunjukkan bahawa rumput laut mampu bertindak sebagai penyerap nutrien yang efisien dan berupaya menyingkirkan sebahagian besar bahan buangan nutrien di dalam sistem tersebut. Kajian menunjukkan bahawa banyak spesies rumput laut yang berpotensi untuk digunakan sebagai agen bioremediasi dan antaranya ialah spesies *Gracilaria*. Kajian oleh Troell et al. (1997) pada kawasan ternakan ikan seluas 1 ha mendapati bahawa pengkulturan *Gracilaria sp.* dapat menyingkirkan sekurang-kurangnya 5% nitrogen tak organik terlarut dan 27% fosforus tak organik dari kawasan ternakan ikan tersebut. Kajian yang dijalankan oleh Matos (2006) pula mendapati bahawa *Gracilaria bursa pastoris* mempunyai kadar kecekapan menyerap nitrogen ammonia total (Total Ammonia Nitrogen = TAN) yang lebih tinggi iaitu sebanyak 75.4% berbanding *Chondrus crispus* yang hanya mampu menyerap sebanyak 41.3% sahaja.

Kajian juga menunjukkan bahawa sistem polikultur antara ikan dengan *Gracilaria parvispora* yang dijalankan di dalam sangkar berupaya mengurangkan paras kepekatan ammonia dan meningkatkan kadar tumbesaran rumput laut (Nagler et al., 2003). Selain

Gracilaria sp., terdapat juga spesies rumpai laut lain seperti *Kappaphycus alvarezii* yang didapati berupaya mengurangkan kandungan bahan buangan tak organik seperti ammonium, nitrit, nitrat dan fosfat daripada hasil kumuhan ikan dalam sistem ternakan bersepadu (Hayashi et al., 2008). Kajian pengkulturan rumpai laut merah tempatan, *Gracilaria changii* telah berjaya dilaksanakan di perairan laut terbuka Middle Bank, Pulau Pinang, Malaysia pada tahun 1977 dengan jayanya (Doty & Fisher, 1987) dan pengkulturan *Gracilaria manilaensis* di dalam kolam juga telah berjaya dilakukan di Sungai Petani, Kedah.

Daripada laporan yang telah dibincangkan amat jelas menunjukkan bahawa *Gracilaria spp.* mempunyai keupayaan menyerap nutrien yang tinggi daripada persekitaran yang tercemar. Memandangkan tiada lagi kajian mengenai ternakan bersepadu antara spesies rumpai laut *Gracilaria changii* dan ikan di Malaysia, maka adalah wajar kajian dilakukan untuk mengkaji potensinya sebagai agen bioremediasi bagi mengatasi masalah pencemaran daripada aktiviti akuakultur.

1.2 OBJEKTIF KAJIAN

Kajian yang dijalankan adalah bagi memenuhi objektif-objektif berikut :-

1. Menentukan kadar pengambilan dan pembebasan oksigen oleh *Gracilaria changii*, ikan tilapia Nile (*Oreochromis niloticus*) dan ikan siakap Asia (*Lates calcarifer*).
2. Mengkaji kesan ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ke atas kadar pertumbuhan *G. changii*.
3. Mengkaji kualiti air dalam sistem polikultur antara *G. changii* dengan *O. niloticus*.
4. Mengkaji kualiti air dalam sistem polikultur antara *G. changii* dengan *L. calcarife*.
5. Mengkaji keberkesanan *G. changii* sebagai penapis biologi dalam sistem ternakan bersepadu dan monokultur dengan *O. niloticus*.
6. Mengkaji keberkesanan *G. changii* sebagai penapis biologi dalam Sistem Akuakultur Kitaran Semula (RAS) *L. calcarifer*.

BAB DUA

TINJAUAN BACAAN

2.1 Pendekatan Bioremediasi Dalam Industri Akuakultur

Industri akuakultur marin di Malaysia telah berkembang dengan pesatnya daripada tahun ke tahun. Sejalan dengan Dasar Pertanian Negara ke-3, aspek pengeluaran hasil pertanian adalah diberikan keutamaan. Terdapat pelbagai spesies ikan yang sedang diusahakan secara komersial di Malaysia seperti ikan tilapia Nile (*Oreochromis niloticus*) dan ikan siakap Asia (*Lates calcarifer*). Pengeluaran hasil akuakultur pada tahun 2009 adalah sebanyak 472 307 tan metrik dan nilai ini adalah peningkatan sebanyak 25% berbanding tahun 2008 (Statistik Perikanan, 2009). Pihak kerajaan telah mensasarkan peningkatan jumlah pengeluaran hasil akuakultur sehingga 507 000 tan metrik pada tahun 2010. Perkembangan dan pembangunan akuakultur yang pesat ini adalah kerana disokong oleh inisiatif kerajaan yang menggalakkan pelaburan daripada pihak swasta. Walau bagaimanapun kawal selia yang lemah akan menjatuhkan industri ini satu hari nanti disebabkan oleh masalah pencemaran aktiviti akuakultur. Salah satu contoh masalah kawal selia yang lemah adalah berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Thakur & Lin (2003) yang mendapati sebanyak 39 - 67% fosforus dilepaskan ke persekitaran daripada kolam ternakan udang dan ini telah menyebabkan pencemaran alam sekitar. Kajian yang dilakukan oleh Islam (2005), menguatkan lagi hujah bahawa kawal selia aktiviti akuakultur yang lemah penyumbang kepada kemerosotan kualiti alam sekitar. Berdasarkan kajian beliau (Islam, 2005), untuk satu tan ikan yang dihasilkan, hanya 14.3% P yang digunakan untuk membentuk biojisim dan 85.7% P yang selebihnya akan dilepaskan ke persekitaran dan menyumbang kepada pencemaran.

Memandangkan air adalah medium utama untuk ternakan, kualiti air harus dipastikan mengikut piawaian antarabangsa demi kesejahteraan manusia sejagat di mana paras kandungan oksigen terlarut yang disyorkan untuk aktiviti akuakultur mestilah melebihi 5.0 mg L⁻¹ (Boyd, 2003). Julat optimum pH bagi hidupan akuatik adalah antara 6.0 - 9.0 (Boyd, 2003). Kepekatan ammonia pula mestilah kurang daripada 0.5 mgL⁻¹, nitrat mestilah 1.0 mgL⁻¹ atau kurang dan fosfat mestilah 3.0 mgL⁻¹ atau kurang (Fast & Lester, 1992). Kajian-kajian yang dijalankan dan yang diterbitkan dalam jurnal berkaitan kesan aktiviti akuakultur terhadap alam sekitar adalah sangat kurang berbanding kajian-kajian yang dilakukan bagi meningkatkan pengeluaran hasil akuakultur. Walau bagaimanapun kajian yang dilakukan bagi membendung pencemaran alam sekitar akibat aktiviti akuakultur kebanyakannya tidak menekankan pendekatan yang lestari. Oleh yang demikian bagi melestarikan industri akuakultur di Malaysia, pendekatan bioremediasi adalah amat wajar diperkenalkan.

Bioremediasi bermaksud penyingkiran bahan tercemar melalui penggunaan organisma (Beaumont et. al., 2007). Teknologi bioremediasi boleh dilakukan secara *in-situ* atau *ex-situ*. Bagi kaedah *in-situ*, proses bioremediasi melibatkan rawatan bahan tercemar pada tempat pencemaran tersebut berlaku manakala bagi kaedah *ex-situ* bahan tercemar yang akan dirawat perlu dipindahkan pada satu kawasan lain untuk proses rawatan. Banyak organisma yang telah dikenal pasti boleh digunakan untuk merawat pencemaran seperti kulat, bakteria dan tumbuhan-tumbuhan samada tumbuhan darat atau tumbuhan air. Salah satu agen bioremediasi yang sangat berkesan untuk merawat pencemaran bahan buangan hasil akuakultur air payau ialah dengan menggunakan rumpai laut (Marinho-Soriano et al., 2009; Neori, et al., 2004; Troel et al., 1997; Neori et

al., 1996). Kajian penggunaan rumpai laut sebagai 'penawar' atau agen bioremediasi kepada bahan pencemaran industri akuakultur telah terbukti berkesan di mana rumpai laut spesies *Gracilaria caudata* berupaya mengurangkan paras sisa buangan nitrogen tak organik dan fosforus di samping meningkatkan kandungan oksigen terlarut terhadap air buangan kolam udang (Marinho-Soriano et al., 2009; Neori et al., 1996).

Salah satu sistem yang berkesan yang digunakan melalui pendekatan bioremediasi ialah sistem akuakultur secara bersepadu, kitaran semula dan polikultur. Bagi sistem ini, pengkulturan rumpai laut boleh digabungkan dengan spesies ternakan lain seperti ikan, udang dan kerang-kerangan. Kaedah ternakan secara bersepadu, kitaran semula dan polikultur antara tumbuhan dengan ikan telah mula diamalkan secara besar-besaran bagi mengurangkan pencemaran yang diakibatkan oleh penternakan monokultur secara intensif (Troel et al., 1997). Antara semua sistem yang telah dinyatakan, sistem ternakan bersepadu dan polikultur didapati memberi pulangan yang lebih lumayan berbanding sistem ternakan monokultur dalam jangka masa yang panjang (Chaudhary et al., 2008; Lombardi et al., 2006). Faedah-faedah lain yang diperolehi daripada sistem ternakan polikultur antara rumpai laut dan ikan ialah rumpai laut dapat meningkatkan kualiti air dengan meningkatkan kandungan oksigen terlarut (D.O) dan pH serta menyingkirkan sisa-sisa buangan tak organik (nutrien) yang dirembeskan oleh ikan (Wang et al., 2007; Langdon et al., 2004). Sistem kitaran semula atau 'Recirculating Aquaculture System' (RAS) juga dilaporkan amat berjaya untuk mengawal pencemaran seperti yang telah dibincangkan oleh Gutierrez-Wing & Malone (2006). Kajian yang dilakukan oleh Shnel et al. (2002) mendapati bahawa kepekatan nitrat dalam ternakan ikan tilapia dalam sistem kitaran semula adalah lebih tinggi berbanding nilai optimum yang disyorkan untuk nitrat tetapi ikan masih mempunyai kadar tumbesaran yang baik.

Sistem ternakan secara bersepadu dan polikultur antara ikan dan rumpai laut juga boleh dijadikan sebagai satu alternatif kepada industri akuakultur di mana amalan ternakan secara monokultur yang dipraktikkan sejak dari dahulu lagi boleh diubah kepada sistem bersepadu dan polikultur bagi mewujudkan keseimbangan ekologi (Neori, 2008). Pengeluaran utama daripada sistem akuakultur bersepadu adalah ikan, udang dan kerang-kerangan manakala pengeluaran sampingan pula ialah alga seperti makroalga, mikroalga atau kombinasi kedua-duanya (Kaas, 1998; Neori et al., 1999; Troell et al., 1999; Chopin et al., 2001). Bahan-bahan buangan tak organik daripada perkumuhan ikan atau udang akan menjadi sumber nutrien atau 'baja' kepada rumpai laut (Chopin et al., 2001; Bushmann et al., 2009; Carmona et al., 2006; Marinho-Soriano et al., 2009).

Alga berupaya menyerap sisa buangan bahan tak organik terlarut (nitrogen dan fosforus) dan karbon (karbon dioksida untuk fotosintesis) manakala kerang-kerangan (tiram, siput sudu dan kerang) berupaya menapis partikel-partikel organik tak larut daripada sisa makanan yang terdapat dalam air dan menggunakannya sebagai bahan makanannya. Kerang-kerangan boleh merendahkan tahap pencemaran bahan organan dan mengurangkan kekeruhan air di samping ianya adalah sumber yang senang diperolehi dan mudah diternak. Campuran ternakan alga bersama dengan kerang-kerangan akan memberikan kesan yang positif kerana keupayaan alga menyerap sisa-sisa bahan buangan daripada kerang-kerangan dan kerang-kerangan pula dapat mengurangkan paras kekeruhan. Walau pun secara teorinya keberkesanan sistem bersepadu dan polikultur boleh dicapai, namun masalah yang biasa dihadapi ialah untuk mencari keseimbangan keperluan ekologi yang berbeza bagi setiap spesies yang mempunyai aras tropik yang berlainan. Sebagai contoh kajian yang dijalankan oleh Noeri et al. (2004) mendapati jumlah oksigen yang dibekalkan oleh *Ulva sp.* kepada ikan pada nisbah 1:2 adalah mencukupi dan menunjukkan bahawa rumpai laut merupakan agen

bioremediasi yang sangat efektif. Berbeza pula dengan kajian yang dijalankan oleh Brzeski & Newkirk (1997) yang mendapati bahawa keseimbangan oksigen antara rumpai laut dan ikan adalah pada nisbah 1:1. Melalui sistem polikultur, rumpai laut dapat meningkatkan kandungan oksigen terlarut dan menyingkirkan sisa-sisa buangan tak organik daripada ikan (Dvir et al., 1999). Tambahan pula berdasarkan hasil kajian yang dibuat oleh Eklof et al. (2006) mendapati bahawa kadar mandiri ikan akan meningkat sekiranya terdapat ladang rumpai laut di kawasan persekitarannya.

Selain daripada meningkatkan kandungan oksigen, peranan rumpai laut dalam sistem polikultur adalah bagi menstabilkan pH dan menyingkirkan sisa-sisa sebatian tak organik (nutrien) daripada kumuhan ikan (Neori et al., 2004 & Carmona et al., 2006). Zhou et al. (2006) mendapati nilai pH bagi ternakan ikan adalah lebih rendah berbanding nilai pH pengkulturan rumpai laut dan amalan ternakan polikultur antara rumpai laut dan ikan dapat menstabilkan paras pH air. Nilai pH yang tinggi juga akan menyebabkan kualiti air mudah merosot kerana kepekatan ammonia akan meningkat pada pH yang tinggi seperti yang dilaporkan oleh Colt (2006). Oleh yang demikian dengan sistem bersepadu dan polikultur antara rumpai laut dengan ikan akan mewujudkan keseimbangan biologi seterusnya menstabilkan kualiti air ternakan. Kepekatan sisa-sisa tak organik iaitu ammonium dan fosforus dalam ternakan ikan dapat dikurangkan oleh rumpai laut spesies *Kappaphycus alvarezii* setiap satunya sebanyak 70.5% dan 26.8% (Hayashi et al., 2008). Kajian yang dijalankan oleh Yang et al. (2006) mendapati rumpai laut spesis *Gracilaria lemaneiformis* berupaya mengurangkan kesan eutrofikasi daripada sisa-sisa buangan ternakan ikan seperti ammonia sebanyak 69.45 % dan fosforus sebanyak 26.74 % dalam jangka masa 40 hari. Contoh kajian lain yang menunjukkan rumpai laut merupakan agen bioremediasi ialah seperti yang dilaporkan oleh Hernandez et al. (2006) yang mendapati rumpai laut merah (*Gracilariopsis longissima*) berupaya menyerap N daripada air kolam

ternakan ikan secara intensif dan mencapai kadar tumbesaran yang tinggi iaitu sehingga $6.0 \%h^{-1}$. Oleh yang demikian penggunaan rumpai laut sebagai agen bioremediasi adalah sangat tepat untuk meningkatkan kualiti air terutamanya dalam aktiviti akuakultur.

2.2 Kesan Faktor Persekitaran Terhadap Tumbesaran Ikan

Ikan tilapia Nile (*Oreochromis niloticus*) dan ikan siakap Asia (*Lates calcarifer*) merupakan dua spesies ikan yang amat penting kepada pengeluaran ikan negara. Ikan tilapia Nile (*O. niloticus*) dipilih kerana ikan ini mempunyai nilai komersial dan julat toleransi terhadap kemasinan air adalah amat besar. Menurut Suresh & Lin (1992), banyak spesies tilapia yang bersifat eurihalin tetapi hasil kajian menunjukkan tidak banyak yang boleh beradaptasi seperti *O. niloticus* dan julat kemasinan yang optimum untuk tumbesaran adalah antara 10 – 20 ‰. Di Malaysia, penternakan *L. calcarifer* bermula pada awal 70-an sebagai spesies komersial untuk industri akuakultur. *Lates calcarifer* telah dipilih dalam eksperimen ini kerana ia merupakan spesies yang terpenting dalam industri akuakultur marin di Asia Tenggara. Buat masa sekarang terdapat sekurang-kurangnya 10 spesies ikan marin yang ditenak secara komersial di Malaysia dan yang paling banyak sekali ditenak ialah *L. calcarifer* (Othman, 2006).

Banyak faktor yang perlu diambil kira bagi menjayakan sistem ternakan bersepadu dan polikultur antara ikan dengan rumpai laut. Salah satu faktor penting yang perlu diketahuai ialah kadar pengambilan oksigen oleh ikan dan rumpai laut pada waktu siang (bercahaya) dan pada waktu malam (gelap). Data ini adalah penting untuk menentukan bilangan ikan dan jumlah rumpai laut yang perlu ditempatkan dalam sesuatu sistem polikultur agar wujud keseimbangan oksigen dalam system tersebut. Kajian yang

dilakukan oleh Ginneken et al. (1999) mendapati bahawa kadar pengambilan oksigen oleh ikan *O. niloticus* meningkat pada waktu siang berbanding pada waktu malam. Kajian yang dijalankan oleh Muller & Bauer (1996) juga mendapati bahawa pengambilan oksigen oleh *Tilapia aurea* semasa dalam keadaan bercahaya adalah lebih tinggi berbanding dalam keadaan gelap. Terdapat beberapa lagi kajian lain yang membuktikan bahawa ikan mempunyai kadar pengambilan oksigen yang lebih tinggi semasa dalam keadaan bercahaya berbanding dalam keadaan gelap (Glencross & Felsing, 2006; Vinatea et al., 2009). Selain factor cahaya, saiz ikan juga didapati mempengaruhi kadar pengambilan oksigen dimana kajian yang dilakukan oleh Fidhiany & Winckler (1998) mendapati kadar pengambilan oksigen akan berkurang dengan peningkatan saiz ikan.

Kandungan oksigen terlarut juga telah dilaporkan akan mempengaruhi kadar tumbesaran ikan. Kajian yang dilakukan oleh Tran-Duy et al. (2008) mendapati kadar pengambilan makanan dan tumbesaran ikan *O. niloticus* adalah rendah apabila kandungan oksigen terlarut adalah rendah (di bawah 3.0 mgL^{-1}) berbanding kandungan oksigen yang tinggi (5.6 mgL^{-1}). Selain daripada faktor oksigen, nutrien juga turut mempengaruhi kadar tumbesaran ikan. Kajian yang dijalankan oleh Popma & Masser (1999) mendapati bahawa ammonia tak terion pada kepekatan 0.08 mgL^{-1} akan memberikan tekanan kepada ikan dan ini akan menyebabkan kadar pengambilan makanan oleh ikan merosot dan tumbesaran ikan akan menjadi perlahan. Menurut hasil kajian oleh Pillay (1992), ammonia akan memberi kesan toksik kepada ikan pada julat kepekatan 0.6 hingga 2 mgL^{-1} dan paras maksimum toleransi ikan terhadap ammonia adalah 0.1 mgL^{-1} . Kepekatan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada aras $1.40 - 1.73 \text{ mgL}^{-1}$ adalah sangat toksik dan boleh menyebabkan kematian kepada ikan siakap (Lemarie et al., 2004).

2.3 Kesan Faktor Persekitaran Terhadap Pertumbuhan Rumpai Laut

Pemilihan rumpai laut merah (*Gracilaria changii*) sebagai spesies kajian dibuat adalah kerana nilai ekonominya yang tinggi dan ia mudah diperolehi dari habitat semulajadi (Phang, 1994). Selain itu, spesies ini juga telah menarik minat para penyelidik tempatan mengkajinya kerana potensi kegunaannya sebagai sumber baru dalam bidang perubatan (Sreenivasan, 2007; Wong et al. 2006; Lim, 2005). Kajian yang dijalankan oleh Norziah & Chio (2000) mendapati bahawa *G. changii* mengandungi sumber protein, serat, lipid serta mineral yang tinggi dan berpotensi untuk digunakan dalam industri pembuatan bahan makanan rumusan terutamanya dalam sektor akuakultur. Pemilihan spesies rumpai laut yang sesuai untuk ditenak adalah yang mempunyai kadar pertumbuhan yang tinggi dan boleh beradaptasi pada persekitaran yang sentiasa berubah-ubah. *Gracilaria tikvahiae* telah dipilih sebagai spesies yang berpotensi untuk dikultur secara komersial kerana keupayaannya untuk beradaptasi pada julat saliniti yang luas, dapat hidup pada kepekatan nutrien yang tinggi dan juga mempunyai kadar pertumbuhan yang tinggi (Hanisak et al., 1990).

Nutrien adalah merupakan faktor yang amat penting untuk pertumbuhan rumpai laut. Kajian oleh Nagler et al. (2003) mendapati bahawa sekiranya *Gracilaria parvispora* dikultur dalam air ternakan ikan terlebih dahulu sebelum dipindahkan ke tangki pemeliharaan, ia akan merangsang kadar pertumbuhannya. Bahan buangan daripada haiwan seperti biri-biri dan arnab juga boleh digunakan sebagai sumber nitrogen untuk pengkulturan rumpai laut *Gracilaria tikvahiae* (Asare, 1980). Unsur nitrogen adalah merupakan unsur utama yang diperlukan oleh rumpai laut dan ianya menjadi faktor penghad ke atas pertumbuhan rumpai laut di kawasan semulajadi (Dring, 1986). Unsur nitrogen digunakan untuk menghasilkan molekul organik kompleks seperti asid amino,

protein dan asid nukleik. Di atmosfera, simpanan nitrogen adalah dalam bentuk gas (kebanyakannya N_2) dan unsur N memainkan peranan penting dalam kehidupan.

Kajian penambahan unsur N oleh Buapet et al. (2008) terhadap *Ulva reticulata* mendapati bahawa terdapat peningkatan jumlah N yang signifikan dalam tisu. Sumber nitrogen untuk rumpai laut adalah dalam bentuk NH_4^+ yang diperolehi daripada persekitaran rumpai laut tersebut selepas melalui proses penurunan NO_3^- atau NO_2^- ke bentuk NH_4^+ (Hanisak, 1983). Mekanisme penyerapan nitrogen (NH_4^+ atau NO_3^-) pada rumpai laut bermula dengan peresapan nitrogen masuk ke lapisan sempadan di permukaan talus, kemudian N akan melintasi membran sel dan masuk ke dalam sel. Penyerapan nutrien oleh rumpai laut boleh ditentukan dengan menganalisa kandungan N dalam tisu rumpai laut. Nilai kandungan N yang tinggi menunjukkan berlakunya penyerapan N oleh rumpai laut. Peratus N di dalam tisu *Gracilaria tikvahiae* adalah sebanyak 2% daripada tisu kering (Hanisak, 1981). Kadar penyerapan N oleh rumpai laut adalah mengikut prinsip kinetik Michaelis-Menten seperti kajian yang dijalankan oleh Dy & Yap (2001) yang mendapati bahawa pengambilan ammonium oleh *Kappaphycus alvarezii* adalah dipengaruhi oleh jumlah penambahan nutrien dan masa pendedahan kepada nutrien tersebut. Selain itu, faktor yang mempengaruhi penyerapan nutrien ialah sumber N. Kajian yang dijalankan oleh D'Elia & DeBoer (1978) terhadap penyerapan N daripada sumber yang berbeza menunjukkan bahawa *Gracilaria foliifera* lebih suka menyerap NH_4^+ berbanding NO_3^- -N. Kajian oleh Bushmann et al. (2004) juga mendapati bahawa kadar tumbesaran *Gigartina skottsbergii* yang diberikan ammonium adalah lebih tinggi daripada yang diberikan nitrat.

Rumpai laut memerlukan karbon (C) tak organik dalam kepekatan yang tinggi sebagai sumber untuk menjalankan proses fotosintesis. Selain daripada CO_2 bebas,

sumber karbon tak organik boleh diperolehi daripada bikarbonat. Oleh kerana jumlah bikarbonat adalah tinggi dalam air masin, maka sumber karbon tak organik tidak menjadi faktor penghad untuk pertumbuhan rumpai laut (Sand-Jensen & Gordon, 1984).

Kesan lindung merupakan salah satu faktor yang penting dalam pengaruh kadar tumbesaran rumpai laut. Kajian yang dilakukan oleh Rosenberg & Ramus (1982), mendapati apabila kepadatan rumpai laut bertambah, kesan lindung cahaya akan wujud dan nisbah kawasan permukaan yang terdedah kepada persekitaran berbanding jisim rumpai laut menjadi rendah disebabkan jumlah biojisimnya yang tinggi. Keadaan ini akan menyebabkan produktiviti rumpai laut akan berkurangan. Menurut Lapointe & Duke (1984), kadar tumbesaran dan prestasi proses fotosintesis rumpai laut spesies *Gracilaria tikvahiae* meningkat dengan peningkatan keamatan cahaya. Hal ini juga dibuktikan lagi melalui kajian oleh Rosenberg & Ramus (1982) yang mendapati bahawa morfologi rumpai laut amat mempengaruhi keupayaan melakukan proses fotosintesis. Menurut kajiannya, kadar fotosintesis adalah lebih tinggi pada spesies yang mempunyai bentuk talus yang lebar seperti *Ulva sp.* dan *Dictyota dichotoma* kerana permukaan penyerapan cahaya yang lebih luas berbanding rumpai laut yang mempunyai talus bentuk bulat atau silinder seperti *Gracilaria foliifera* dan *Codium decorticatum*.

Kadar tumbesaran rumpai laut juga amat dipengaruhi oleh kadar kepadatan stok yang digunakan. Kajian oleh Nagler et al. (2003) mendapati bahawa penambahan nutrien daripada bahan buangan ikan dan baja kimia ke atas *Gracilaria parvispora* pada kadar kepadatan stok yang berlainan adalah berbeza secara signifikan antara rawatan. Kadar kepadatan stok didapati mempengaruhi kadar tumbesaran *Gigartina skottsbergii*. Ini dibuktikan melalui kajian oleh Buschmann et al. (2004) yang mendapati bahawa kadar tumbesaran adalah tinggi iaitu sebanyak $2\%h^{-1}$ pada kadar kepadatan stok yang rendah

berbanding nilai tumbesaran pada kadar kepadatan stok yang tinggi iaitu 0.5 \%h^{-1} . Keputusan yang sama juga diperolehi melalui kajian yang dilakukan di perairan laut terbuka oleh Yang et al. (2006) di mana mereka mendapati kadar tumbesaran *Gracilaria lemaneiformis* pada kadar kepadatan stok rendah adalah yang paling tinggi dengan nilai 13.9 \%h^{-1} berbanding dengan kadar kepadatan stok tinggi yang hanya mencapai nilai 7.07 \%h^{-1} . Hasil penemuan oleh Pereira et al. (2006) mendapati kandungan N dalam *Porphyra dioica* berkurangan dengan peningkatan kadar kepadatan stok dan ini menunjukkan bahawa rumpai laut tidak dapat menyerap N dengan cekap dalam kepadatan stok yang tinggi.

Status kandungan nitrogen dalam tisu boleh diketahui melalui nisbah C:N pada tisu tersebut. Kajian oleh Redfield (1934) mendapati bahawa nisbah molar C:N:P pada fitoplankton adalah 106:16:1. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Pichetti et al. (1998), mereka merumuskan bahawa nisbah C:N hampir kepada nilai 10 adalah menunjukkan status N alga berada dalam keadaan optimum (atau normal) manakala nilai nisbah C:N melebihi 10 menunjukkan berlakunya kekurangan N dalam persekitaran, manakala bagi nilai C:N bawah 10 pula menunjukkan lebih sumber N dalam persekitaran. Kajian keatas *Gracilaria foliifera* dan *Neoagardhiella baileyi* oleh D'Elia dan DeBoer (1978), mendapati bahawa nisbah C:N yang diperolehi adalah di bawah nilai 10 dan ini menunjukkan bahawa sumber air di mana rumpai ini diperolehi adalah kaya dengan sumber N. Lignel dan Pedersen (1987) mendapati kadar tumbesaran *Gracilaria secundata* Harv. akan berkurangan sekiranya nisbah C:N bertambah disebabkan oleh kekurangan $\text{NH}_4^+\text{-N}$. Nisbah C:N pada makroalga biasanya bernilai 13.05 (Hernandez et al., 1993).

Saliniti juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kadar pertumbuhan rumput laut (Choi et al., 2006; Fong et al., 1996). Menurut hasil kajian yang dilakukan oleh Choi et al. (2006), saliniti optimum bagi *Gracilaria chorda* ialah 25‰ manakala bagi *Gracilaria verrucosa* pula adalah antara 15 - 25‰. Peratus N dalam tisu *Gelidium coulteri* didapati menurun dengan peningkatan saliniti (Macler, 1988). Selain itu suhu air memainkan peranan yang penting dalam kajian ini kerana kadar respirasi dan fotosintesis akan meningkat dengan peningkatan suhu air (Phooprong et. al., 2006; Katsanevakis et. al., 2005). Kadar pengambilan oksigen oleh ikan turut dipengaruhi oleh suhu dan dalam kajian sistem polikultur antara rumput laut dengan ikan, faktor ini turut diambil kira. Menurut Imsland et al. (1995), suhu mempengaruhi kadar pengambilan oksigen oleh ikan di mana peningkatan suhu akan menyebabkan kadar pengambilan oksigen turut bertambah. Semua faktor yang dibincangkan di atas akan diambil kira dalam menjalankan kajian penggunaan rumput laut sebagai agen bioremediasi dalam ternakan ikan bagi mencapai keadaan persekitaran yang optimum.

BAB TIGA

Kajian Penentuan Pembebasan Oksigen Oleh *Gracilaria changii*, Pengambilan Oksigen Oleh *Oreochromis niloticus* Dan *Lates calcarifer* Di Dalam Sistem Monokultur Dan Polikultur

3.1 PENGENALAN

Parameter utama kualiti air yang penting dalam menentukan kejayaan industri akuakultur ialah kandungan oksigen terlarut (DO) yang tinggi. Tujuan kajian adalah untuk mengkaji kadar pengambilan dan pembebasan oksigen oleh ikan dan rumpai laut dan seterusnya menentukan nisbah kadar penstokan yang optimum untuk ternakan secara polikultur berdasarkan keperluan oksigen setiap spesies tersebut. Pengukuran kadar pengambilan oksigen juga adalah penting dalam proses pengumpulan maklumat organisma akuatik kerana selain daripada menjadi penanda kepada kadar metabolik, ia juga menyediakan indeks keadaan tekanan atau 'stress' organisma tersebut (Palanivelu et al., 2005; Vijayavel & Balasubramaniam, 2006).

Pengambilan oksigen oleh ikan siakap Eropah (*Dicentrarchus labrax*) yang berada dalam persekitaran yang mempunyai kepekatan ammonia sebanyak 0.88 mgL^{-1} adalah lebih tinggi ($368 \text{ mgO}_2/\text{kg}/\text{jam}$) berbanding kawalan ($205 \text{ mgO}_2/\text{kg}/\text{jam}$) (Lemarie et. al., 2004). Faktor persekitaran amat mempengaruhi kadar pengambilan dan pembebasan oksigen ikan serta rumpai laut. Perubahan saliniti telah menyebabkan kadar metabolik ikan *Dicentrarchus labrax* berubah dan kesan saliniti yang terlalu tinggi menyebabkan kematian 100% (Via et al., 1998). Kajian yang dilakukan oleh Wong & Chang (2000) mendapati bahawa kadar fotosintesis rumpai laut merah (*Grateloupia filicina*) adalah

paling tinggi pada saliniti 20 ‰ dan keamatan cahaya 100 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Kajian yang dilakukan oleh Ahmed et al., (2008) menunjukkan bahawa penggunaan oksigen bagi abalone (*Haliotis sp.*) adalah lebih tinggi dalam keadaan cahaya berbanding gelap.

3.2 BAHAN DAN KAEDAH

3.2.1 Perolehan Dan Aklimitasi *Gracilaria changii*, *Oreochromis niloticus* Dan *Lates calcarifer*

3.2.1.1 Rumpai Laut Merah (*Gracilaria changii*)

Sebanyak 15 kg berat basah *G. changii* dikutip dari kawasan paya bakau di Pantai Morib, Selangor (2° 45' 10.69" N 101° 26' 29.54" E). *G. changii* ini kemudiannya dimasukkan ke dalam tiga kotak styrofoam bersaiz 43 cm (P) x 30 cm (L) x 29 cm (T) yang mengandungi ais yang dibungkus dalam plastik bagi tujuan mengekalkan kesegaran sampel semasa dalam perjalanan yang mengambil masa selama enam jam ke Pulau Pinang. Kotak styrofoam ini kemudiannya dibawa ke Pusat Penyelidikan Akuatik, USM, Pulau Pinang untuk digunakan dalam beberapa siri ujikaji. Sebaik saja tiba di makmal, sampel terlebih dahulu dimasukkan ke dalam tangki gentian kaca yang berukuran 2 m (P) x 1 m (L) x 0.4 m (T) yang mengandungi air laut buatan bersaliniti 20 ‰ bagi tujuan aklimitasi (Plat 3.1). Air bersaliniti 20 ‰ disediakan dengan menggunakan garam laut buatan berjenama 'Instant Ocean' (bebas nitrat dan fosfat) dan saliniti diukur dengan menggunakan refraktometer berjenama ATAGO. Selepas 24 jam diaklimitasi, rumpai laut ini dibersihkan daripada epifit dan lain-lain kekotoran mengikut kaedah Mohammad et al. (2006) (Plat 3.2).

3.2.1.2 Ikan Tilapia Nile (*Oreochromis niloticus*)

Sebanyak 100 ekor benih *O. niloticus* dengan berat purata 20.01 ± 1.53 g (Plat 3.3) telah diperolehi daripada Pusat Pengembangan Akuakultur, Jabatan Perikanan Malaysia, Jitra, Kedah. Sebaik saja tiba di makmal, benih ikan dimasukkan ke dalam tangki gentian kaca yang mengandungi 100 L air tawar. Oleh kerana benih *O. niloticus* adalah berasal daripada spesies air tawar, ia diubah menjadi spesies air masin pada saliniti 20 ‰ dengan meningkatkan kemasinan air menggunakan garam laut buatan pada kadar 2 ‰ setiap hari sehingga mencapai kemasinan 20 ‰.

3.2.1.3 Ikan Siakap Asia (*Lates calcarifer*)

Benih *L. calcarifer* (Plat 3.4) yang berat setiap satu lebih kurang 16.0 g (15.80 ± 0.53 g) diperolehi daripada kolam asuhan Persatuan Peladang Kawasan, Sg. Petani, Kedah (Plat 3.5). Sebanyak 150 ekor *L. calcarifer* diambil dan dimasukkan ke dalam kotak styrofoam berukuran 43 cm (P) x 30 cm (L) x 29 cm (T) yang mengandungi 25 L air kolam (Plat 3.6). Pam pengudaraan mudah alih yang menggunakan kuasa bateri digunakan untuk memberikan pengudaraan kepada ikan yang terdapat di dalam kotak styrofoam sewaktu membawanya ke Pusat Penyelidikan Akuatik, USM, Pulau Pinang. Setibanya di makmal, ikan dipindahkan ke dalam tangki gentian kaca berisipadu 100 L air laut buatan bersaliniti 20 ‰ untuk tujuan aklimitasi.



Plat 3.1 *G. changii* di dalam tangki gentian kaca bersaiz 2 m (P) x 1 m (L) x 0.4 m (T) yang mengandungi 100 L air laut buatan bersaliniti 20 ‰.



Plat 3.2 Membersihkan rumput laut daripada segala kotoran, epifit dan lain-lain organisma.



Plat 3.3 Benih ikan tilapia Nile, *O. niloticus*.



Plat 3.4 Benih ikan siakap Asia, *L. calcarifer*.



Plat 3.5 Kolam asuhan *L. calcarifer* milik Persatuan Peladang Kawasan Sg. Petani, Kedah.



Plat 3.6 Benih ikan daripada kolam asuhan dipindah ke dalam kotak styrofoam.

3.2.2 Kaedah Penentuan Kadar Pengambilan dan Pembebasan Oksigen

3.2.2.1 Sistem Monokultur

Eksperimen ini dilakukan untuk mengkaji kesan keadaan bercahaya dan keadaan gelap terhadap suhu, pH serta pengambilan dan pembebasan oksigen oleh *G. changii* dan pengambilan oksigen oleh *O. niloticus* dan *L. calcarifer*. Bagi menentukan kadar pengambilan dan pembebasan oksigen oleh *G. changii*, *O. niloticus* dan *L. calcarifer*, kelalang berisipadu 5 L digunakan dan ujikaji dilakukan dalam bilik bersuhu 27°C. Kelalang berisipadu 5 L yang mengandungi air laut yang disediakan daripada garam buatan pada saliniti 20 ‰ diletakkan di atas pengacau bermagnet. Bagi mengukur kandungan oksigen di dalam kelalang, prob oksigen jenama YSI 556 digunakan dan kelalang ujikaji didedahkan kepada pancaran cahaya 100 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ daripada lampu kalimantang (Plat 3.7A). Bagi menyediakan keadaan gelap, kelalang kon dibalut dengan kain hitam (Plat 3.7B).

Berat *O. niloticus*, *L. calcarifer* dan *G. changii* yang digunakan dalam eksperimen ini setiap satunya ialah 10.76 ± 0.29 g, 15.80 ± 0.53 g dan 10.20 ± 0.61 g. Bilangan ikan setiap kali percubaan dilakukan ialah seekor dengan bilangan replikat sebanyak tiga kali. Sebelum eksperimen dijalankan, air di dalam kelalang (saliniti 20‰) diberikan pengudaraan terlebih dahulu selama 1 jam (Plat 3.8) supaya kandungan oksigen menjadi tepu (100% oksigen di udara) dan seragam. *G. changii*, *O. niloticus* dan *L. calcarifer* kemudiannya dimasukkan ke dalam kelalang setiap satunya secara monokultur bagi menentukan nilai pengambilan dan pembebasan oksigen. Sebaik sahaja organisma (*G. changii*, *O. niloticus* dan *L. calcarifer*) dimasukkan ke dalam kelalang, pengacau bermagnet di dalam kelalang diputar pada kelajuan sederhana bagi memastikan

percampuran kandungan oksigen di dalam air adalah sekata. Prob oksigen jenama YSI 556 kemudiannya dimasukkan ke dalam mulut kelalang dan diketatkan dengan menggunakan getah penyumbat dan dibalut dengan parafilm. Bacaan kepekatan oksigen terlarut direkodkan selama tiga jam dan pengiraan jumlah pengambilan/pembebasan oksigen adalah mengikut formula Valverde et al. (2006) iaitu:

$$MO_2 = \frac{([O_2]_{t1} - [O_2]_{t2}) * V}{(B * t)}$$

di mana:

MO_2 = Pengambilan/pembebasan oksigen oleh ikan/rumpai laut dalam unit

mg O₂ kg⁻¹ j⁻¹

$[O_2]_{t1} - [O_2]_{t2}$ = Perbezaan kepekatan oksigen (mg O₂ L⁻¹) antara akhir ujikaji dan awal ujikaji

V = Isipadu air dalam kelalang (liter)

B = Berat ikan atau rumpai laut dalam (kg)

t = Jangka masa kajian dijalankan (jam)

Dalam percubaan ini, ujikaji akan dihentikan sekiranya kepekatan oksigen terlarut kurang daripada 3.0 mgL⁻¹. Bacaan suhu dan pH di dalam kelalang semasa kajian dijalankan juga direkodkan selama tiga jam dan setiap ujikaji diulang sebanyak tiga kali bagi mendapatkan purata bacaan. Perbandingan nilai pH bagi setiap rawatan dalam keadaan bercahaya dan gelap dan perbandingan pH antara sistem monokultur dengan sistem polikultur juga dibuat bagi mengkaji kesan proses fotosintesis serta respirasi. Penerangan tentang simbol bagi rawatan penentuan kandungan oksigen untuk sistem monokultur *G. changii*, *O. niloticus* dan *L. calcarifer* dan sistem polikultur antara *O. niloticus* dengan *G. changii* dan *L. calcarifer* dengan *G. changii* diberikan pada Jadual 3.1